

HIGHER WAVELENGTH OPTIMIZED OPTICAL FIBER WAVEGUIDE**Publication number:** JP2003511736T**Publication date:** 2003-03-25**Inventor:****Applicant:****Classification:**

- international: G02B6/02; G02B6/036; H04B10/16; H04B10/17;
G02B6/02; H04B10/16; H04B10/17; (IPC1-7):
G02B6/16; H04B10/16; H04B10/17

- european: G02B6/16; G02B6/22

Application number: JP20010530622T 20000915

Priority number(s): US19990159075P 19991012; WO2000US25362
20000915

Also published as:

 WO0127667 (A3)
 WO0127667 (A2)
 EP1222482 (A3)
 EP1222482 (A2)
 EP1222482 (A0)

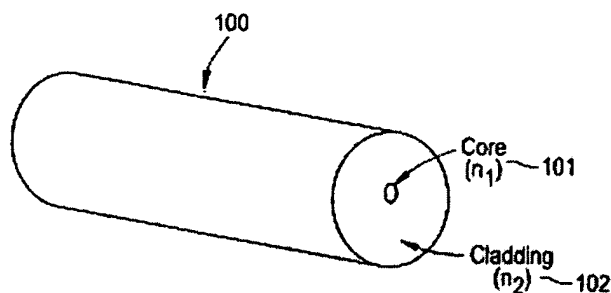
more >>

Report a data error here

Abstract not available for JP2003511736T

Abstract of corresponding document: **WO0127667**

Single mode optical fiber waveguides are disclosed that offer a broader band for transmission over the wavelength range of about 1300 nm to about 1700 nm with reduced bending loss. The extended ranges of these fibers are achieved by altering the optical characteristics of the fiber, namely, the MAC number, the mode field diameter ("MFD"), and the cut-off wavelength. The single mode fibers disclosed exhibit a lower MFD and higher cut-off wavelength as a result of altering the MAC number of the optical fiber waveguide. In addition, optical fiber transmission systems, wave division multiplexing ("WDM") systems, and optical fiber ribbon cables are disclosed that incorporate the single mode optical fiber of the present invention.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表2003-511736

(P2003-511736A)

(43) 公表日 平成15年3月25日 (2003.3.25)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テマコード (参考)

G 0 2 B 6/16

G 0 2 B 6/16

2 H 0 5 0

H 0 4 B 10/16

H 0 4 B 9/00

J 5 K 0 0 2

10/17

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 39 頁)

(21) 出願番号 特願2001-530622(P2001-530622)
 (86) (22) 出願日 平成12年9月15日 (2000.9.15)
 (85) 翻訳文提出日 平成14年4月10日 (2002.4.10)
 (86) 国際出願番号 P C T / U S 0 0 / 2 5 3 6 2
 (87) 国際公開番号 W O 0 1 / 0 2 7 6 6 7
 (87) 国際公開日 平成13年4月19日 (2001.4.19)
 (31) 優先権主張番号 6 0 / 1 5 9 , 0 7 5
 (32) 優先日 平成11年10月12日 (1999.10.12)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

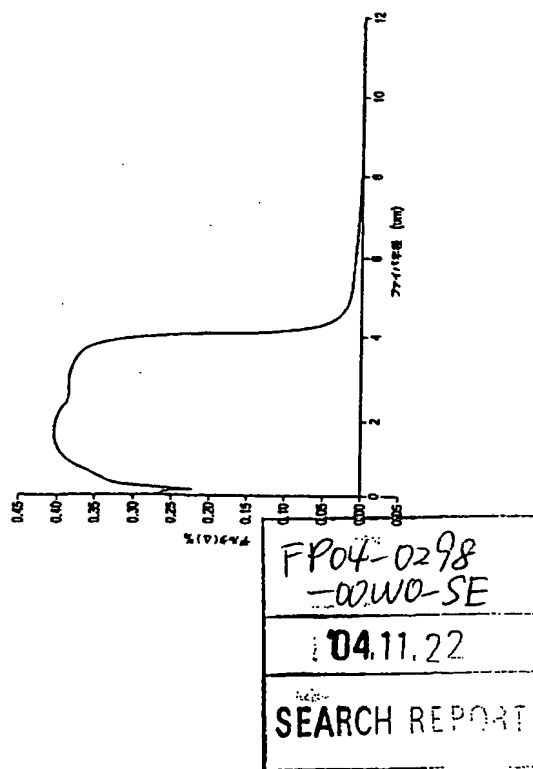
(71) 出願人 コーニング・インコーポレーテッド
 アメリカ合衆国ニューヨーク州14831, コーニング, リバーフロント・プラザ 1
 (72) 発明者 バガバチュラ ヴェンカータ エイ.
 アメリカ合衆国 ニューヨーク州 14814
 ビッグフラッツ オーチャードドライブ 29
 (72) 発明者 ギロウクス シンシア ビー.
 アメリカ合衆国 ニューヨーク州 14830
 コーニング ヒドゥンメドウトレイル 10760
 (74) 代理人 弁理士 藤村 元彦

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 より長い波長に最適化された光ファイバ導波路

(57) 【要約】

単一モード光ファイバ導波路が開示される。該光ファイバ導波路は、およそ1300~1700nmの波長範囲の全域において、曲げ損失を低減しつつ伝達を行うためにより広範囲の帯域を提供する。これらファイバの拡張された領域は、該ファイバの光学的特性を部分的に変更することで実現される。すなわち、それらはMAC数と、モード場径 (MFD) と、カットオフ波長とである。開示された単一モードファイバは、小さなMFDおよび長いカットオフ波長を示し、該光ファイバ導波路のMAC数を変更する。さらに、光ファイバ伝達システムと、波長分割マルチプレクシング (WDM) システムと、光ファイバリボンケーブルとが開示され、本発明による単一モード光ファイバを組み込む。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 単一モード光ファイバであって、最小の損失を伴っておよそ1300～1700nmの範囲の波長で動作する能力を有し、前記ファイバは、1625nmの波長で測定されておよそ7.8以下であるMAC数を有することを特徴とする単一モード光ファイバ。

【請求項2】 モード場径が、波長1310nmで $8.6\mu\text{m}$ もしくはそれより小さいことを特徴とする請求項1記載の単一モード光ファイバ。

【請求項3】 最長およそ1330nmであるケーブル化されたカットオフ波長をさらに含むことを特徴とする請求項1記載の単一モード光ファイバ。

【請求項4】 前記単一モード光ファイバの微小曲げに起因する前記損失は、波長1700nmで0.7dB/mより小さいことを特徴とする請求項1記載の単一モード光ファイバ。

【請求項5】 前記単一モード光ファイバの微小曲げに起因する前記損失は、波長1700nmで0.48dB/mより小さいことを特徴とする請求項1記載の単一モード光ファイバ。

【請求項6】 前記単一モード光ファイバの微小曲げに起因する前記損失は、波長1550nmで0.49dB/mより小さいことを特徴とする請求項1記載の単一モード光ファイバ。

【請求項7】 前記単一モード光ファイバの微小曲げに起因する前記損失は、波長1550nmで0.35dB/mより小さいことを特徴とする請求項1記載の単一モード光ファイバ。

【請求項8】 前記単一モード光ファイバのマクロ曲げに起因する前記損失は、波長1700nmで11dB/mより小さいことを特徴とする請求項1記載の単一モード光ファイバ。

【請求項9】 前記単一モード光ファイバのマクロ曲げに起因する前記損失は、波長1700nmで5dB/mより小さいことを特徴とする請求項1記載の単一モード光ファイバ。

【請求項10】 前記単一モード光ファイバのマクロ曲げに起因する前記損失は、波長1550nmで2dB/mより小さいことを特徴とする請求項1記載の単一モード光フ

ファイバ。

【請求項11】前記単一モード光ファイバのマクロ曲げに起因する前記損失は、波長1550nmで0.7dB/mより小さいことを特徴とする請求項1記載の単一モード光ファイバ。

【請求項12】単一モード光ファイバであって、微小曲げおよびマクロ曲げによる減衰を最小化しつつ、およそ1300～1700nmの範囲の波長で動作する能力を有し、前記ファイバは、

最大屈折率 n_1 を有する中心コア領域と、

クラッド層であって、前記中央コア領域と近接しかつこれを囲繞し、前記屈折率 n_1 より小さい屈折率 n_2 と、前記屈折率間の相対的差であるデルタ (Δ) とを有するクラッド層からなり、

前記単一モード光ファイバが、波長1625nmでおよそ7.8以下のMAC数を有することを特徴とする単一モード光ファイバ。

【請求項13】前記MAC数は、波長1625nmでおよそ7.6以下であることを特徴とする請求項12記載の単一モード光ファイバ。

【請求項14】前記モード場径は、波長1310nmでおよそ8.6以下であることを特徴とする請求項12記載の単一モード光ファイバ。

【請求項15】前記ファイバは、1330nmより大きいファイバカットオフ波長を含むことを特徴とする請求項12記載の単一モード光ファイバ。

【請求項16】前記デルタ (Δ) は、およそ0.3～0.4%であることを特徴とする請求項12記載の単一モード光ファイバ。

【請求項17】前記単一モード光ファイバの前記微小曲げ損失は、波長1700nmで0.7dB/mより小さいことを特徴とする請求項12記載の単一モード光ファイバ。

【請求項18】前記単一モード光ファイバの前記微小曲げ損失は、波長1700nmで0.48dB/mより小さいことを特徴とする請求項12記載の単一モード光ファイバ。

【請求項19】前記単一モード光ファイバの前記微小曲げ損失は、波長1550nmで0.49dB/mより小さいことを特徴とする請求項12記載の単一モード光ファイバ。

【請求項20】前記単一モード光ファイバの前記微小曲げ損失は、波長1550nmで0.35dB/mより小さいことを特徴とする請求項12記載の単一モード光ファイバ。

【請求項21】前記単一モード光ファイバの前記マクロ曲げ損失は、波長1700nmで11dB/mより小さいことを特徴とする請求項12記載の単一モード光ファイバ。

【請求項22】前記単一モード光ファイバの前記マクロ曲げ損失は、波長1700nmで5dB/mより小さいことを特徴とする請求項12記載の単一モード光ファイバ。

【請求項23】前記単一モード光ファイバの前記マクロ曲げ損失は、波長1550nmで2dB/mより小さいことを特徴とする請求項12記載の単一モード光ファイバ。

【請求項24】前記単一モード光ファイバの前記マクロ曲げ損失は、波長1550nmで0.7dB/mより小さいことを特徴とする請求項12記載の単一モード光ファイバ。

【請求項25】請求項1による光ファイバを含むことを特徴とする光ファイバリボンケーブル。

【請求項26】波長分割マルチプレクシング(WDM)システムであって、
およそ1300～1700nmの範囲内の異なる波長で変調された少なくとも1つの光信号源と、

前記WDMシステムの入力で光信号を変調する装置と、

前記WDMシステムの出力で光信号をデマルチプレクシングする装置と、

前記マルチプレクシング装置と前記デマルチプレクシングとの間に伸張する伝送経路であって、ケーブル化された光ファイバと、

最長およそ1310nmの波長の、ケーブル化されたカットオフ波長を有する前記光ファイバと、

およそ1310nmの波長で8.6以下のモード場径と、

およそ1625nmの波長でおよそ7.8かそれより小さいMAC数と、

を含み、さらに、

最大屈折率 n_1 を有する中心コア領域と、

前記中心コア領域と近接しかつこれを囲繞し、前記屈折率より小さい屈折率を有するクラッド層と、

を含むことを特徴とする伝送経路と、

を含むことを特徴とするWDMシステム。

【請求項27】前記伝送経路は、少なくとも1つの光増幅器をさらに含むことを特徴とする請求項26記載のWDMシステム。

【請求項28】前記伝送経路は、40～150mの間隔で配置された少なくとも2つの光増幅器をさらに含むことを特徴とする請求項26記載のWDMシステム。

【請求項29】前記伝送経路は、前記複数の光信号源がレーザ光源であることを特徴とする請求項26記載のWDMシステム。

【請求項30】光ファイバネットワークであって、

およそ1300～1700nmの波長範囲で電気信号を光信号に変換する光源と、

光ファイバリボンケーブルを含む伝送媒体であって、

前記光ファイバリボンケーブルは複数の光ファイバを含み、前記光ファイバの各々は、最大およそ1310nmの波長のカットオフ波長と、1310nmの波長で8.6 μm かそれより小さいモード場径と、1625nmでおよそ7.8かそれより小さいMA数と、

を含む伝送媒体と、

前記光信号を前記電気信号に変換する能力を有する受信機と、
を含むことを特徴とする光ファイバネットワーク。

【請求項31】前記伝送媒体は、少なくとも1つの光増幅器をさらに含むことを特徴とする請求項30記載の光ファイバネットワーク。

【請求項32】前記伝送媒体は、40～150kmの間隔で配置された少なくとも2つの光増幅器をさらに含むことを特徴とする請求項30記載の光ファイバネットワーク。

【発明の詳細な説明】**【0001】****【関連特許出願の参照】**

本出願は、1999年10月12日に出願された米国特許出願第60/159075号の利益を主張する。

【0002】**【発明の属する技術分野】**

本発明は、およそ1300ナノメートル (nm) から1700nmの動作領域内で、かつ最小限の曲げ損失で光信号を伝えるのに適当な、単一モード光ファイバ導波路に関し、特に、本発明による他の実施例は、光ファイバリボンケーブルと、本発明の単一モード光ファイバ導波路を用いた電気通信システムと、を含む。

【0003】**【発明の背景】**

光ファイバ導波路、もしくは単なる光ファイバは、この技術分野において良く知られている。光ファイバには大きく2つのタイプが存在する。すなわち、単一モードおよび多モード光ファイバである。単一モードファイバは、多モードファイバに対して様々な面で異なる。例えば、単一モードファイバは中心コア部を有し、多モードファイバのコアに比べてかなり小さな直径である。この直径差は、多くの特性差を与える。単一モードファイバは、長距離通信に用いる方が好ましい。なぜなら、単一モードファイバは、より長距離にわたって信号中継器を必要とせずに、情報の高速伝送を可能にするからである。さらに、単一モードファイバは、多モードファイバよりもはるかに広い帯域幅を有し、より早い速度で光信号を伝送することができる。

【0004】

単一モードまたは多モードファイバの臨界制御範囲は減衰である。減衰とは、2点間を伝送される光信号の強さの減少である。この減衰損失は、伝播する光信号の強さを凌駕し、この信号が受信機でノイズの中に失われるまで続く。光ファイバに対して、減衰損失は、ある特定の波長における毎キロメートルデシベル (dB/km) として測定される。小さな減衰損失である程、ファイバの有する光伝送

品質は向上する。

【0005】

光信号もしくは光パルスは、電磁波として単一モード光ファイバ導波路内部を伝播する。これら信号の伝播はモードとして知られる経路の波長にてファイバを経由する。各々のモードは、そのモードに関連する2つの偏光を有し、それは二重縮退（デジェネレート）と記述される。モード構造を記述する鍵となるパラメータは、無次元パラメータであり、正規化周波数やVパラメータ、もしくは単純にV値として知られている。典型的なステップ型プロフィール光ファイバにおいて、V値は以下の式で定義される。

【0006】

【数1】

$$V = [(2 * \pi * a) / \lambda] * \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

【0007】

ここで、aはファイバのコア径、 λ は通常的自由空間での光波長、 n_1 はコアの屈折率、 n_2 はクラッドの屈折率をそれぞれ示す。

V値はファイバにおける電磁波モードの数を決定する。光ファイバにおけるモード数は、直接V値と関連している。従って、V値は光ファイバが許容するモード数の増加とともに増加する。V値に対するさらに詳細な記述は、ジョン パウーズ (John Powers) による「光ファイバシステム入門 (An Introduction to Fiber Optic Systems、1997年)」の第2章、またはジョン エム. シニア (John M. Senior) による「光ファイバ通信：原理と実践 (Optical Fiber Communication : Principles and Practice、1985年)」の第2.3.6節に見られ、その開示内容は本明細書に組み入れられる。

【0008】

ステップ型プロフィールの単一モードファイバは、およそ2～2.405の間のV値を有する。ステップ型プロフィールとは異なる屈折率を有する光ファイバは、やや異なるV値および特性を示す。これに対して、多モードファイバは2.405よりも大きいV値を有する。比較的小さなV値を得るためには、コア径およびコアとクラ

ッドとの間の屈折率差が相対的に小さく保たれるべきである。しかしながら、仮にV値が小さすぎる場合、無視できない大きさのモードの伝送されたパワーが、中心コアではなく、ファイバのクラッドに見られるようになる。例えば、V値が1.4もしくはそれ以下のファイバは、該クラッドを通して電磁放射の50%を伝送する。このことは問題を含んでいる。なぜなら、クラッドのパワーは光ファイバのコーティング損失、曲げ損失、接続損失および他の構造損失によって容易に失われてしまうからである。

【0009】

単一モードファイバは、特定の波長の基本モードを伝送するように設計される。1つの伝播モードのみをサポートする光ファイバの最小波長は、カットオフ波長と呼ばれる。システム動作波長がカットオフ波長より短い場合、多モード作用が起こり、追加の分散源の導入によってファイバの情報搬送能力が制限されてしまうことがある。

【0010】

ファイバの物理的な配備は、単一モード作用の範囲を決定する上で重要な役割を果たす。該光ファイバをケーブル化することで、測定されたファイバのカットオフ波長は、典型的により短い波長に偏移する。それ故、ケーブル化されたカットオフ波長は、ユーザに対してより興味あることになり得る。なぜなら、それは実用上予測されるカットオフ波長のより正確な表現であるからである。

【0011】

興味あるさらなるパラメータは分散である。分散は、ある光ファイバでの帯域幅限定の原因である。分散は光パルスの幅の広がりもしくは増加に関連し、光パルスがファイバの長さに沿って伝播する際の単一モードファイバでは、全体の分散は、主として材料分散および導波路分散によってもたらされる。材料分散は、該導波路材料における光の様々な波長における遅延差によって引き起こされる。導波路分散は、ファイバのコアおよびクラッドの両方を伝わる光パルスによって起こる。これらどちらの分散原因も、導波路のコア材料およびクラッド材料に対する屈折率の相互依存性に一般的に影響される。しかしながら、どちらのタイプの分散も、別々に考察され、光ファイバの伝送特性への相乗効果を示すことがで

きる。

【0012】

従来技術の単一モードファイバは、およそ1310～1550nmの範囲で変化する波長で動作する。単一モードファイバの総分散を最小化するためには、およそ1270nmより長い波長で動作することが望ましい。およそ1300nmの波長では、小さな正の材料分散が小さな負の波長分散を相殺し、高いシリカ含有率の光ファイバに対して正味の分散をゼロにする。しかしながら、1550nm付近の動作範囲中の高い範囲の方が好ましく、多くの理由のために光ファイバの減衰損失を小さく保つ。光ファイバは1380nmの波長の付近で水酸基のピークを示す。その原因は水分の導入にあり、製造プロセス中に水酸基（-OH）群として現れる。この水酸基ピークは、光ファイバの重要な減衰の原因となる。さらに、ガラスファイバの理論上の最小損失である0.16dB/kmは、1550nmの波長の場合に起こる。

【0013】

光ファイバの総分散および減衰損失を最小限に留めるための1つの解決策は、分散を1550nmの波長付近に偏移させることである。この1550nmの波長付近での動作向けに設計された光ファイバは、分散シフトファイバと呼ばれる。分散シフトファイバでは、総分散がゼロの波長は前述の1300nmではなく、むしろ1330～1620nmの範囲にある。1300nmより長い波長に分散ゼロの波長を偏移させるための従来の方法は、ファイバのV値を小さくすることと、ファイバの屈折率を変化させることと、および（もしくは）ファイバのコア部に酸化ゲルマニウム（GeO₂）あるいは他の添加物をドープすることを含む。米国特許第4,715,679号には、ファイバの屈折率を変化させることによって、単一モード光ファイバの分散を移行させる方法が開示されている。この特許は、バガバチュラ（Bhagavatulla）に与えられ、本出願の譲受人に譲渡されたものであり、その内容は本明細書に組み入れられるものとする。

【0014】

動作波長を1550nm付近にまで長くさせ、総分散および減衰損失を最小化することは挑戦的である。これら2つの目的は、残念ながら一方に対して互いが競合してしまう。導波路分散は、光ファイバのパラメータ変化に非常に敏感である。前

述した通り、V値をおよそ1.5に小さくすることによって、中心コア領域を通るよりもクラッド領域を通る光パルスの伝播の方がより大きくなる。このことは、導波路分散に対して否定的な影響を及ぼす。さらに、導波路分散は、該光ファイバの中心コア部径と、屈折率と、中心コア領域 (n_1) およびクラッド (n_2) の屈折率の部分変化デルタと、によっても影響を受ける（ここでデルタ (Δ) は次の式で表わされる。

【数2】

$$\Delta = (n_1^2 - n_2^2) / 2 * n_1^2 = (n_1 - n_2)$$

）。コア領域の径が小さくなると、前記 Δ が2倍になり、かつV値が一定に保たれる必要がある。一方で、材料分散は、主として中心コア領域にドーピングすることによってもたらされる。

【0015】

従来技術での単一モード光ファイバは、およそ1310～1550nmの範囲の波長で動作する。総分散を最小化するために波長の下限領域が好ましくなる一方で、水分もしくは1380nmの波長での水酸基のピークが、ファイバの減衰損失の主要原因となる。従って、この動作範囲の上限は、一般的に光ファイバの減衰を低く保つのに好ましい条件となる。かかる損失を小さく、もしくは除去されたファイバでさえ、1380nmの波長の水酸基ピークはレイリー散乱による損失を被る。さらに、ファイバの波長が長くなるにつれて、より多くの光信号が中心コア領域よりむしろクラッド領域を伝播する。このことは、光ファイバがケーブル化されるかもしくは曲げられる時に曲げ損失として知られるように、単一モード光ファイバの減衰損失の主要原因を作り出す。最終的には、基本伝播モードLP₀₁はある損失を有するようになる。本発明は、新しい単一モード光ファイバに求められるものを満たし、該光ファイバは、許容できる動作レベルで低い曲げ損失を維持することによって、1550nmを超える波長まで拡大した動作範囲を有する。

【0016】

光ファイバは、一般的に同一平面状の束にケーブル化され、リボンケーブル基体もしくは別の手段にカプセル化され、その後伝送システムに組み込まれる。光

ファイバ伝送システムは、典型的には、伝送される信号と、その発信源と、検出器と、光ファイバケーブルと、コネクタおよび接続具と、信号中継器および増幅器とから構成される。この伝送システム部品は、高波長範囲での動作の機能を有し、レーザ発信源が1550nmもしくはそれ以上の波長で光パルスを送送できるように、普通に使用される。

【0017】

単一モード光ファイバは、特に波長分割マルチプレクシング (WDM) システムとして知られる伝送システムに適している。波長分割マルチプレクシングは、高データ速度可能なシステムであり、光導波路のいくつかの信号を異なる波長で同時伝送することが可能である。これらのシステムは、通常、多重波長もしくは多重入力チャネルで信号を送ることができる発信源と、マルチプレクサと、光ファイバケーブルと、デマルチプレクサと、多重出力源もしくは多重出力チャネルとを有する。米国特許第5,483,612号には、典型的な波長分割マルチプレクシングシステムが開示されている。本特許は、ギャラガー (Gallagher) らに与えられ、本出願の譲受人に譲渡されたものであり、その内容は本明細書に組み入れられるものとする。現在の波長分割マルチプレクシングシステムは、およそ1~10nmの範囲で入力チャネルの波長を分割する。より精度の高い波長分割によって、より多くの光信号を光ファイバの長さに沿って伝送することができるが、同時に漏話の問題も発生する。さらに、従来技術の単一モード光ファイバは、波長分割マルチプレクシングシステムの要求を満たすには不相应である。これは、特に高波長範囲での、総分散および減衰損失を最小化することが難しいことに起因する。いったんケーブル状にされた単一モード光ファイバは、波長分割マルチプレクシングシステムに適している。それは、システムの動作条件範囲における上限の条件で、より多くの波長を扱う機能を有するからである。

【0018】

【発明の概要】

本発明のある面は、単一モード光ファイバに関連し、この光ファイバはおよそ1300~1700nmの範囲の波長で、最小損失のもとで動作することができ、かつ1625nmの波長で測定されたMAC数を含む。このMAC数はおおよそ7.8以下で、より好まし

くは7.6以下が良い。ここで用いられるMAC数は、ミクロン (μm) 単位のモード場径 (MFD) をnm単位のファイバのカットオフ波長で除し、因数として1000を掛けた数として定義される。単一モード光ファイバでは、モード場径 (MFD) は、コア領域径よりやや大きく、ファイバを通して伝播する光モードの有効径を表す。小さいMAC数は、光ファイバの曲げ損失の最小化に大きな影響を及ぼす。過剰損失はファイバの経路に沿って曲げに対して生じる。これはコアとクラッドとの界面の形状が変化することと、屈折率変化による応力に起因する。この変化の結果として、ファイバを通して伝播されるいくつかの導かれた光が、コアからクラッドに透過される。これらの損失に対するファイバの感受性は、直接MAC数に依存し、それゆえモード場径とカットオフ波長とに依存する。単一モード光ファイバは本発明の方法によって作製され、0.7dB/mより小さい微小曲げ損失を示し、より好ましくは、1700nmの波長で0.48dB/mより小さく、1550nmの波長で0.49dB/mより小さく損失を示して、さらに好ましくは、1550nmの波長で0.35dB/mより小さい損失を示す。従って、本発明の単一モード光ファイバは、MAC数を小さくすることで、少ない曲げ損失を実現する。

【0019】

本発明による好ましいファイバは、1310nmの波長でモード場径が8.6 μm もしくはそれより小さく、ケーブル化されたカットオフ波長がおよそ1330nmを示す。これらのファイバは微小曲げに起因する損失を示す。この微小曲げ損失は、波長1550nmで0.35dB/mより小さく、波長1700nmで0.7dB/mより小さくなり、より好ましくは、波長1700nmで0.5dB/mより小さくなる。このマクロ曲げ（1度の巻きつけに20mm径のマンドレルを使用）による損失は、好ましくは、波長1550nmで2dB/mより小さく、さらに好ましくは、波長1550nmで0.7dB/mより小さく、および波長1700nmで11dB/mより小さい方が良い。

【0020】

本発明の別の実施例は、リボンケーブルと、伝送システムと、本発明による単一モード光ファイバが組み込まれた波長分割マルチプレクシングシステムとである。これらのシステムは独特のものであり、これによってユーザはおよそ1300～1700nmの範囲の波長での動作を活用できる。この範囲は、以前は許容できない曲

げ損失のために、事実上使用は不可能とされていたものである。

【0021】

本発明のより完全な理解は、発明のさらなる特徴や利点とともに、以下の詳細な説明および添付図面から明らかになるであろう。

【0022】

【実施の形態】

本発明は、単一モード光ファイバに関し、特に該光ファイバは、およそ1300～1700nmの波長範囲で動作し、曲げ損失を許容できる動作レベルにまで最小化する。同様に本発明では、斬新な光リボンケーブルと、伝送システムと、本発明による単一モード光ファイバを用いた波長分割マルチプレクシングシステムとが開示されている。

【0023】

本発明による光ファイバの製造は、標準的な方法で行うことができる。簡単に言えば、前記製造プロセスは、予備形成物としてコアとクラッドの層を作製する工程と、該予備形成物を熱処理して引き伸ばす工程と、クラッド層に主たるポリマーコーティング材料をコーティングする工程と、主たるポリマーコーティング材料に任意に第2のポリマーコーティング材料をコーティングする工程と、第2のコーティング材料のまわりをコーティングしているインクを任意に積層させる工程と、が必要となる。仮に光ファイバがリボン状にケーブル化される場合、この製造プロセスは、複数のコーティングされた光ファイバを同一平面状の配置に並べる工程と、リボン基体材料をファイバに与えて平面状の配置をその後維持する工程と、をさらに含む。

【0024】

コア層およびクラッド層は、典型的に予備形成物から製造され、良く知られた従来技術の方法によって、1つもしくは2つのステップで製造される。本発明による光ファイバは、ガラス製の予備形成物から引き伸ばされる。本発明の好ましい実施例では、ガラス製の予備形成物は、化学蒸着法（CVD）で作られた煤煙の予備形成物である。化学蒸着法によって該煤煙の予備形成物を作製することは、従来技術では良く知られている。かかるプロセスのいくつかの例は、外付け法（

OVD) プロセスや、内付け化学蒸着法 (MCVD) プロセスや、プラズマ化学蒸着法 (PCVD) プロセスや、気相軸付け法 (VAD) プロセスなどである。これらのプロセスのより詳細な説明は、「カーク・オスマー化学技術百科事典 (Kirk-Othmer Concise Encyclopedia of Chemical Technology)」(ジャクリーン アイ. クロシュヴィッツ (Jacqueline I. Kroschwitz) 著、1999年第4編) の824~827ページ、もしくはジョン エム. シニア (John M. Senior) による「光ファイバ通信原理および実践 (Optical Fiber Communications Principle and Practice)」(1985年) の118~127ページでなされており、両者の開示内容は本明細書に記載されたものとする。また本発明で実践されている1つの方法は外付け法プロセスであり、同方法はバーケイ (Berkey) に与えられ、本発明と同じ出願人に譲渡されている米国特許第4,453,961号に開示されており、その開示内容は本明細書に組み入れられるものとする。しかしながら、本発明は、他のCVD法もしくは他のガラス予備形成物作製プロセスに対しても、応用可能であることが理解されるだろう。

【0025】

予備形成物から引き伸ばされた後、光ファイバは、追加保護として1つもしくはそれ以上のポリマーコーティング材でコーティングされる。前述のバーケイによる米国特許第4,453,961号では、光ファイバが主たる第1のコーティングと、第2のコーティングとインクコーティングとを有し、該インクコーティングは、クラッド層と近接するとともに囲繞していることが開示されている。

【0026】

ガラスの光ファイバを、特別に準備された円筒状の予備形成物から引き伸ばすことは良く知られており、該予備形成物は、およそ1800~2200℃の温度範囲まで、局部的にかつ対称的に予め加熱される。予備形成物が炉に送られるように加熱される時、ガラスファイバは溶融した材料から引き伸ばされる。第1のコーティング材料と任意の第2のコーティング材料とは、ガラスファイバに対して、ファイバが予備形成物から引き伸ばされた後に与えられる。この場合好ましくは、引き伸ばされた直後の方が良い。一般的に、該第1のポリマーコーティング材料は、硬化されておらず液状であるが、ガラスファイバに与えられ、この工程は典型

的に、ファイバに、硬化されていないもしくは溶融した第1のポリマーコーティング材料プールを通過させることによって行われる。その後、コーティングは紫外線照射もしくは他の手段を経て硬化され、硬化されコーティングされた光ファイバを形成する。このポリマーコーティングを硬化する方法は、最初のポリマー材料および触媒の性質に依存して変化する。引き伸ばしプロセスにおいて、第1および第2のポリマーコーティング材料を、順序通りにもしくは直線状に並んで（インーライン）与えることはしばしば有利になる。移動中のガラスファイバに2つのコーティング材料層を与える1つの方法は、テイラー（Taylor）による米国特許第4,474,830号に開示されており、その開示内容は本明細書に組み入れられるものとする。ガラスファイバ上に2つのコーティング材料層を与えるもう1つの方法は、レネル（Rennell）らによる米国特許第4,851,165号に開示されており、その開示内容は本明細書に組み入れられるものとする。同様に、任意のインクコーティングはインーラインプロセスで与えられる。

【0027】

本発明で光ファイバリボンに内包される光ファイバは中心コアを有する。図1では、中心コア101と周りを囲繞するクラッド層102とを有する、本発明による典型的な単一モード光ファイバ100が示される。該コア101は、典型的にドープされたシリカガラスであり、円筒状断面と単一モードファイバとして5～10 μ mの範囲の径とを有する。該クラッド層102は、典型的にガラスであり（例えばシリカ）、一般的におよそ125 μ mの外径を有する。

【0028】

図1に示される単一モード光ファイバは、ステップ型の屈折率プロファイルを有する。中心コア101は屈折率 n_1 を有する。クラッド層102は、前記中心コア101を囲繞しているが、屈折率 n_2 を有する。この屈折率 n_1 は n_2 より大きく、適切に、光信号が光ファイバの長さを全ての内部反射を介して伝播する。該ファイバの1つの重要なパラメータは、屈折率の部分変化デルタ（ Δ ）であり、次式

【数3】

$$\Delta = (n_1^2 - n_2^2) / 2 \cdot n_1^2 \approx (n_1 - n_2) / n_1$$

で表わされる。本発明のファイバに対する典型的な Δ の値は、およそ0.2~0.5の範囲に入り、好ましくはおよそ0.3~0.4、さらに好ましくはおよそ0.32~0.4の範囲に入る。図2では、本発明による3つの単一モード光ファイバにおけるファイバ半径と Δ 値との関係が示される。

【0029】

本発明による3つの単一モードファイバは、前述のOVDプロセスによって作られる。ガラスはコアにゲルマニア (germania) をドーピングされたシリカであり、屈折率が増加している。該ファイバはステップ屈折率型プロファイルとして作られる。かかるタイプのファイバでは、導波特性は Δ およびコア半径 a によって影響を受ける。カットオフ波長と、デルタ (Δ) と、コア半径 (a) と、 V 値との関係は前述されている。 V 値を2.405にするために、カットオフ波長は Δ とコア半径 a とに正比例する。どちらのパラメータが増加しても、カットオフ波長は増加する。

【0030】

モード場半径もしくはスポットサイズは、コア半径 a および V 値と関連し、次の関係で表わされる。

【0031】

【数4】

$$\omega_0 \propto a * (0.65 + 1.62V^{-1.5} + 2.88V^{-6})$$

【0032】

ここで、 ω_0 はスポットサイズである。

V 値は Δ とコア半径 a と関係があるため、モード場半径は、適切にステップ屈折率型パラメータを設定することによって減少せしめられる。 ω_0 に対するより詳細な説明は、ジョン エム. シニアによる「光ファイバ通信：原理と実践 (Optical Fiber Communication: Principles and Practice, 1985年)」の4.8.1節、およびジョセフ シー. パライス (Joseph C. Palais) による「光ファイバ通信 (Fiber Optic Communications, 1984年)」の5.4節になされており、これらの開示内容は本明細書に組み入れられるものとする。

【0033】

非ステップ屈折率型プロフィールファイバのカットオフ波長とモード場半径との関係を定義する分析は同様であると思われる。かかるファイバの形態は、追加のパラメータを有することもある。

本発明は、様々な屈折率の種類を有する単一モードファイバにも応用可能である。本発明によるある実施例では、コアおよびクラッド層は、識別可能なコアークラッド境界を示す。これらの特徴的な境界線によって、1つのもしくは一連の変化する屈折率を実現できる。これらのファイバは、望ましい光学特性に依存しつつ中心コアを囲繞するリング（高屈折率）もしくはモート（弱められたまたは小さくされた屈折率）を有することがある。それでもなお、他のファイバは三角形か、W型か、さらなる特徴を有するか、の屈折率を有する。代わりに、コアおよびクラッド層に、特有の境界がない場合があり、これはコアおよびクラッドの位置で、一般的にこれらはガラスでできているが、互いに拡散して屈折率勾配を有するファイバを形成する。これらのファイバのコア層は1つもしくは複数の屈折率を有することがあるので、本明細書中では中央コア領域と称される。各々のファイバは、それぞれ特有の電磁モード分布を有し、それら各々のカットオフ波長におけるV値は、屈折率の形態によってやや異なる。本発明は、任意の単一モード光ファイバに応用可能であり、該ファイバが、小さいMAC数もしくは小さいモード場径（MFD）、並びに標準的な単一モードファイバより比較的長いカットオフ波長を有しても良い。

【0034】

屈折率の変化は、中心コア領域もしくは囲繞しているクラッド領域内の層に、ドーパントを加えることによって得られる。光ファイバの予備形成物および導波路は、最初に高純度シリカガラスで構成される。あるドーパント、例えばチタン、タリウム、ゲルマニウム、アルミニウム、リンなどの酸化物が、重量パーセントで典型的に1~25%の範囲で加えられると、ガラスの屈折率が増加する。他のドーパント、例えばフッ素およびホウ素などの酸化物が、同様の量加えられると、ガラスの屈折率が減少する。好ましい実施例では、本発明の光ファイバは、Geをドーパされた中央コアと、SiO₂のクラッドとを有するガラスファイバである。し

かしながら、本発明はこの組成のみに限定されないことは理解できるだろう。

【0035】

図3、図4および図5では、本発明による光ファイバと従来技術による光ファイバとが比較されている。比較として用いられている光ファイバは、従来技術によるファイバであり、本明細書では比較ファイバXと称される。表1では、本発明による光ファイバと、前述された従来技術によるファイバとの比較並びに、相対的な特性などの情報が示される。

【0036】

【表1】

| | 本発明によるファイバ | 比較ファイバ X |
|---------------------------------|--|--|
| サンプル集団 | n = 3 fibers | n = 5 fibers |
| ファイバカットオフ波長 (λ_c) | 1150 nm - 1500 nm | 1300 nm - 1320 nm |
| カットオフ波長 (λ_c) (ケーブル化) | 1310 nm maximum | 1260 nm or below |
| モード場径 (MFD) | 8.6 μm at 1310 nm 9.7 μm at 1550 nm | 8.8 $\mu\text{m} \pm 0.5$ at 1310 nm 9.7 $\mu\text{m} \pm 0.6$ at 1550 nm |
| 1625nmでの MAC 数 | 7.6 - 7.8 | 8.2 and above |
| 分散がゼロとなる波長 | 1300 nm - 1320 nm | 1310 nm - 1320 nm |
| 1700nmでの微小曲げ損失 (横方向荷重) | .48 dB/m | .71 dB/m |
| 1700nmでのマクロ曲げ損失 (1マンドレル回転@20mm) | 5 dB/m | 10.9 dB/m |
| 1700nmでの減衰損失 (ゆるんだコイル条件) | <0.5 dB/m | <0.5 dB/m |

【0037】

従来技術によるファイバの特性情報は、製造者の仕様と比較試験の結果とに基づく。

微小曲げ損失のデータが、表1に記載されている。微小曲げ損失を定義するのに用いる横方向荷重試験のために、各々の光ファイバは、直径98.5mmの円形の輪に巻き取られ、インストロン (Instron) 試験装置に置かれて、インストロンプラットフォーム上に3mm幅のテープで固定される。光ファイバはその後、ショア硬さ (hardness shore) Aが70 \pm 5のゴムパッドと、70番のワイヤメッシュ織物 (no.70 woven wire mesh) との間に差し挟まれる。各々のファイバに対する最初

の減衰は、1300nmの開始波長から10nm刻みで1700nmの終了波長まで記録される。次に、各々のファイバは、圧縮横方向荷重下に置かれる。この荷重は、インストロン装置の上側の板と下側のプラットフォームとの位置を近づけるように動かすことよって、10N刻みで与えられる。この誘起された減衰は、各々のファイバに対して、それぞれの荷重点でのサンプル集団内で記録される。0~70Nの範囲の荷重は、10N間隔で測定される。圧縮荷重による減衰の変化は、各々のファイバに対して、すべての波長域においてdB/m単位で記録される。同様の試験方法は、「光通信 (Optical Communications)」第107巻の361~364ページに掲載された、イー・アンガーとダブリュー・ストックレインと (E. Unger & W. Stocklein) による「MAC数によるファイバの曲げ感度の特徴づけ (Characterization of Bending Sensitivity of Fibers by MAC Number)」に記述されている。

【0038】

各々のファイバに対するサンプル集団内のMAC数は、関連する波長（例えば1625nm）でのモード場径（MFD）をその波長で割り、1000を掛けることによって計算される。単一モードファイバに対するファイバカットオフ波長は、FOTP-170Bによって測定される。この内容は本明細書に記載されたものとする。本発明による光ファイバは、典型的にかつ意味ありげに、およそ7.8もしくは7.6並びにそれより小さいMAC数を有し、従来技術の光ファイバと比較される。比較ファイバXは、およそ8.2~8.6の範囲のMAC数を有する。

【0039】

図3では、平均減衰もしくは微小曲げ損失と、様々な単一モードファイバの波長との関係が示され、横方向の荷重条件下で、本発明による単一モード光ファイバ導波路と比較されている。平均減衰は、サンプル集団内の同様のファイバに対する減衰に等しく、各々の波長に対して測定され、その後一緒に平均される。横方向の荷重条件は、表1のデータを取得するために光ファイバが影響を受ける試験条件と同様である。

【0040】

本発明による3つのファイバと従来技術による5つの比較ファイバXのサンプル集団は、減衰のために10nmの間隔で測定され、データが平均化されてグラフ化

される。図3に示されるように、本発明によるファイバに対する平均減衰は、波長1550nmでおよそ0.31dB/mから波長1700nmで0.48dB/mの間で変動する。図3ではまた、従来技術による比較ファイバXに対する平均微小曲げ損失が示される。比較ファイバXは、波長1550nmでおよそ0.49dB/mから波長1700nmで0.71dB/mの範囲の平均微小曲げ損失を示す。明らかに、本発明による光ファイバは、この望ましい波長範囲に対する著しく小さい微小曲げ損失を示す。

【0041】

図4では、同様のMAC数でのいくつかのファイバに対する平均減衰値と、様々な単一モードファイバの波長との関係が示され、ゆるんだコイルの条件下で、本発明による単一モード光ファイバ導波路と比較されている。各々のファイバサンプルは、ファイバを輸送するのに用いられる一般的な船積みドラムと同様の大きなドラム（およそ直径18インチ）にゆるく巻きつけられる。ある長さのファイバは入力端および出力端の両方で、2°より小さい角度で切断される。ファイバ区間は、フォトンキネティクス2200ベンチ（Photon Kinetics 2200 bench、PK5）システムに載せられ、結合器を介して固定される。伝送された強度は、1300～1700nmの波長範囲全域で入念に調べられ、10nmごとに測定が行われる。減衰はdB/m単位で各々のファイバについて測定される。減衰はその後、本発明によるファイバおよび比較ファイバXに関して平均化される。図4は、本発明によるファイバおよび従来技術による比較ファイバXに対する、ゆるんだコイル条件での平均減衰が、波長範囲全域にわたって似た傾向を示すことを表している。このことは、本発明のファイバによって示される本発明の利点が、ある曲げ試験では見られない一方で、この利点は、ケーブル化されたファイバの性能を予測するのに用いられる曲げ試験において見られること、を指摘している。

【0042】

図5では、平均減衰値と、様々な単一モードファイバの波長との関係が示され、1度のマンドレルへの巻きつけが20mmの条件（マクロ曲げ試験）で、本発明による単一モード光ファイバ導波路と比較されている。この試験は、実際のケーブルファイバの条件を特徴的に示し、波長範囲全域でのこれらのファイバに対するマクロ曲げ損失を示している。各々の光ファイバはF0TP-62によって試験され、

方法Bおよび減衰結果は前述のPK5システムによって得られる。本発明による3つのファイバおよび比較ファイバXによる5つのファイバの試験集合は、入力端および出力端に付けられ、その後試験装置に取り付けられる。各々のファイバは、指定されたマンドレル径で巻きつけられ、支えられる。ファイバは次に伝送されたパワーを、1300~1700nmの波長範囲にわたって10nmごとに詳細に調べられる。ファイバはその後、マンドレルから取り外される。次にファイバは、参考としてマンドレルなしで同様の範囲および条件で詳細に調査される。減衰はdB/m単位で測定され、各々のファイバについて計算される。最後に、各々のタイプの減衰測定結果は、平均化されグラフ化される。

【0043】

図5では、本発明によるファイバが示す、波長1550nmでおよそ0.7dB/mから波長1700nmで5dB/mよりやや低い値までの範囲の平均マクロ曲げ損失が示される。比較して、比較ファイバXは波長1550nmでおよそ2.3dB/mから波長1700nmでおよそ11dB/mの曲げ損失を示す。図5で示されるように、本発明による光ファイバは、望ましい動作波長範囲で、著しく小さいマクロ損失を示す。

【0044】

本発明によるファイバは、さらにリボン基体材料と組み合わせられ、十分に同一平面状の配列に複数のコーティングされた光ファイバを保持する。図6では、リボン基体材料に包まれた本発明による複数の光ファイバが示される。光ファイバリボンケーブル700に内包される複数の光ファイバ701の各々は、中心コア702と、これと隣り合って囲繞するクラッド層703と、該クラッド層703と隣り合って囲繞する第1のポリマーコーティング層704とを含む。該第1のポリマーコーティング層704は、任意に第2のポリマーコーティング材料705に囲繞され、かつ近接することがある。該第2のポリマーコーティング層705は、一般的に第1のポリマーコーティング層704に比べて高い引っ張り係数を有する方が望ましい。

【0045】

本発明による光ファイバリボンの光ファイバ部品は、任意に着色材料も含むことがあり、この着色材料は、着色されたインクコーティング層706でリボン中の各々のファイバを見分けることができる。好ましくは、該任意のインクコーティ

ング層706は、最も外側のポリマーコーティング材料と、第1のコーティング層704または第2のコーティング層705とを囲繞し、かつそれらと近接する。図示された光リボンケーブル700は、4つのコーティングされ、リボン基体材料708に置かれた十分に同一平面状の光ファイバ701で構成される。しかしながら本発明は、4つの光ファイバケーブルもしくは図示されるケーブル配列には制限されることはない。複数のコーティングされた、十分に同一平面状の光ファイバ701は、リボン基体材料708内に置かれる。該リボン基体材料708は、複数の光ファイバ701をカプセルに包み、もしくは代わりとして、複数の光ファイバ701は互いに接着され、その後該基体材料に内包されることがある。該基体材料は、1つの層もしくは合成構造からなる。適した基体材料は、ポリ塩化ビニルと同様に第1および第2のポリマーコーティング材料として用いることで知られる他の材料とを含む。好ましくは、この基体混合物は任意の第2のコーティングとして用いられる材料と同じタイプのものが良い。

【0046】

コーティングされた光ファイバは、その後同一平面状の配置に配列されて保持され、その一方で硬化されていないリボン基体材料が与えられて硬化せしめられる。いくつかの場合で、特にファイバの引き伸ばし工程と、コーティング工程と、リボン製作工程との最適速度が著しく異なる場合、複数のリール状のコーティング光ファイバを最初に用意することと、別々のプロセスで光ファイバリボンを作ることは有利となる。

【0047】

典型的な紫外線硬化せしめられるリボン基体材料は、樹脂と、希釈剤と、感光開始剤とからなる混合物である。該樹脂は、水酸基停止されたアルキルアクリレートと、1000～6000ダルトンの分子重量を有するポリエーテルポリオールのパリエステルと脂肪族もしくは芳香族のジイソシアンと反応物との反応物から合成されて、ジエチル停止された樹脂を有する。その代わりとして、該樹脂は、グリシドールアクリレートと、カルボキシル基停止され1000～6000ダルトンの分子重量のポリマーもしくはポリエーテルとの反応物から合成され、ジエチル停止された樹脂を含む。該希釈剤は、100～1000ダルトンの分子重量を有する単官能基もし

くは多官能基のアクリル酸エステルか、N-ビニールピロリドンか、またはカプロラクタムからなる。該リボン基体材料に用いるのに適した感光開始剤は、ケトンの合成物、例えばジエトキシアセトフェノンと、アセトフェノンと、ベンゾフェノンと、ベンゾインと、アントラキノンと、ベンジルジメチルケタールとを含む。典型的な組成では、該リボン基体材料は、樹脂（50～90重量%）と、希釈剤（5～40重量%）と、感光開始剤（1～10重量%）とを含む。他の適した添加剤、例えばメタクリレートや、紫外線硬化型エポキシドや、不飽和のポリエステルなども用いられることがある。

【0048】

光ファイバをリボン基体材料にカプセル化する方法の変化は、この技術分野において知られている。簡単に言えば、複数のコーティングされた光ファイバは、液体のリボン基体材料を通して並んで導かれ、ある圧力下もしくは真空下で、ほぼ矩形断面のコーティングされたチャンバに有利に運ばれる。カプセル化された光ファイバリボンの製造に関わるさらに詳細な情報は、マイヤー（Mayr）による米国特許第4,752,112号およびオーストレイヒ（Oestreich）らによる米国特許第5,486,378号で入手でき、これらの開示内容は本明細書に組み入れられるものとする。

【0049】

本発明による光ファイバは、光ファイバ伝送システムにさらに組み込まれることができ、該システムは、典型的に従来技術で見られるものよりも高い動作波長範囲で情報を伝送可能である。図7は、典型的な光ファイバ伝送システム800を示す。ただし、本発明がこの図示されたシステムのみに制限されないことは理解されるだろう。光ファイバ伝送システム800は、一般的に、伝送される信号801と、光源802と、変調器803と、光ファイバケーブルリンク804と、コネクタ805と、接続具806と、信号増幅器807とからなる。伝送される信号801は、デジタルでもアナログでも良いが、好ましくはデジタルの方が良い。光信号のための光源802は、発光ダイオード（LED）か、レーザかまたは任意の他の光を発する光源で良い。本発明に対して、光源802は1550nm付近もしくはそれ以上のより長い動作波長を発生することができるべきである。光源802は、元の信号801の電気エネルギー

が光信号に変換される変調器803を透過する。該光信号は、その後光ファイバリンク804を通して伝送される。

【0050】

光ファイバリンク804は、送信機と、検出器と、この両者間を光信号が伝送できるようなファイバケーブルアセンブリと、からなりかつ含む。光ファイバリンク804は、光源802および検出器と取り付けられたコネクタ805を有する。検出器は、入射する光信号に応じて電気出力信号を出す装置である。検出器によって発生された電流は、受信した光の量と装置のタイプとに依存する。

図7で説明するように、光ファイバリンク804は、図中に示すような一連の追加ファイバリンクと連結されることができる。コネクタ805は、光ファイバリンクを一緒に配列してつなぐのに用いられ、そして（もしくは）送信機や、受信機または他のファイバと取り付けかつ切り離す手段を与える装置である。接続具806は、2つの光ファイバリンク804をつなぐ永久継手である。システム800は、信号中継器807と増幅器とをさらに含むこともある。中継器807は、送信機並びに、受信機またはトランシーバからなるが、システム限度を広げるために信号を再生するのに用いられる。増幅器は電気信号の強さを増幅する装置である。典型的な光システムでは、増幅器はシステム全体で規則的な間隔を空けられ、該信号のケーブル部分に沿った伝播を保持する。本発明では、長い波長範囲での小さい減衰のために、光信号がその拡張を必要とせずかなりの長距離を伝送されることができる。例えば、前記システムにおける増幅器どうしの間の距離は、150kmより拡張されることがある。このことは、システム全体での光増幅器の数を減らし、システムの総コストを小さくする。

【0051】

該光ファイバシステムは、波長分割マルチプレクシング（WDM）システム808をさらに含むことができる。該WDMは、続く図8でもさらに示されている。最後に、光ファイバリンク804は受信装置809とつながれている。受信装置809は、一連のファイバリンクから伝送される光信号を電気信号に変換する。

単一モード光ファイバは、WDMシステムとして知られている伝送システムに適している。本発明による光ファイバは、WDMシステムにも組み込まれること

ができる。図8は、簡単な4チャネルWDMシステム900を示す。ただし、本発明がこの図示されたシステムのみに制限されないことは理解されるだろう。WDMシステムは高データ速度システムであり、異なる波長で光導波路のいくつかの信号が同時伝送されることが可能である。これらのシステムは、通常、多重波長または多重入力チャネル901～904で信号を送信できる入力源（例えばレーザまたは他の手段など）と、マルチプレクシングユニット905と、光ファイバケーブルリンク906と、デマルチプレクシングユニット907と、多重出力源または出力チャネル908～911とを含む。

【0052】

米国特許第5,483,612号は、ギャラガーらによって出され、本発明の所有者に譲渡されているが、現在の技術の典型的なWDMシステムを開示しており、その開示内容は本明細書に記載されたものとする。現在のWDMシステムは、入力チャネルの波長をおよそ1～10nmごとに分割する。細かい波長分割によって、より多くの光信号が光ファイバに沿って伝送されることが可能になるが、同時に漏話の問題も発生する。さらに、従来技術による単一モード光ファイバは、WDMシステムの要求を満たすには適していない。これは総分散および減衰損失を最小化することが、特に長波長範囲で困難であるためである。

【0053】

マルチプレクシングユニット905は、入力チャネル901～904から4つの信号を受信し、その後1本の通信チャネルもしくは光ファイバリンク906を通じて伝送するためにそれらの信号を結合させる。デマルチプレクシングユニット907は、光ファイバリンク906からの単一信号を受信し、その後光信号を個々の出力チャネル908～911に分割する。

【0054】

本発明は特に、現状での好ましい実施例を参照して示されかつ説明されたが、その一方で、この発明が本明細書で特有に開示されている実施例のみに制限されないことは、当業者には理解できるだろう。また当業者であれば、本発明に対する様々な変化および適合が、請求項で定義されているような発明の本質的な精神および範囲を逸脱することなく、これらの実施例の形状や記述でなされることが

正しく認識できるであろう。

【図面の簡単な説明】

【図1】 典型的な単一モードの光ファイバ導波路である。

【図2】 本発明による、3つの単一モード光ファイバにおけるファイバ半径と、屈折率の部分変化デルタとの関係を示すグラフである。

【図3】 本発明による単一モード光ファイバにおける波長と、平均微小曲げ損失との関係を示し、参考として、横方向荷重の条件下での従来技術による単一光ファイバとの比較を示すグラフである。

【図4】 様々な単一モード光ファイバの波長と、同様のMAC数によるいくつかのファイバの平均減衰値との関係を示し、参考として、未集結コイルの状態での、本発明による単一モードの光ファイバ導波路との比較を示すグラフである。

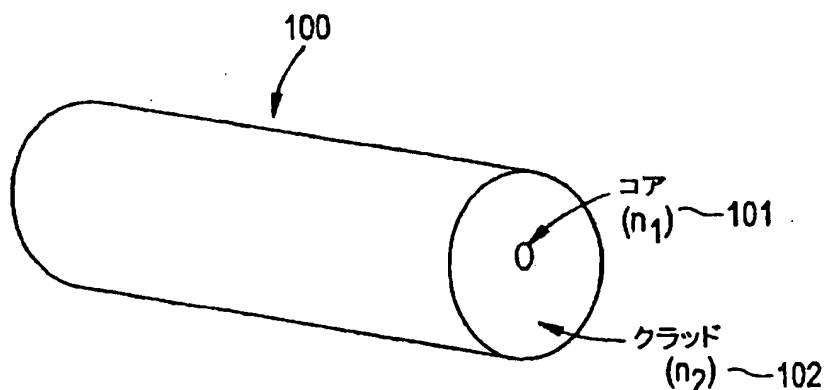
【図5】 本発明による単一モード光ファイバの波長と、平均マクロ曲げ損失との関係を示し、参考として、1度の巻きつけに20mm径のマンドレルを使用した場合の、従来技術による単一モード光ファイバとの比較を示すグラフである。

【図6】 典型的な光ファイバリボンケーブルである。

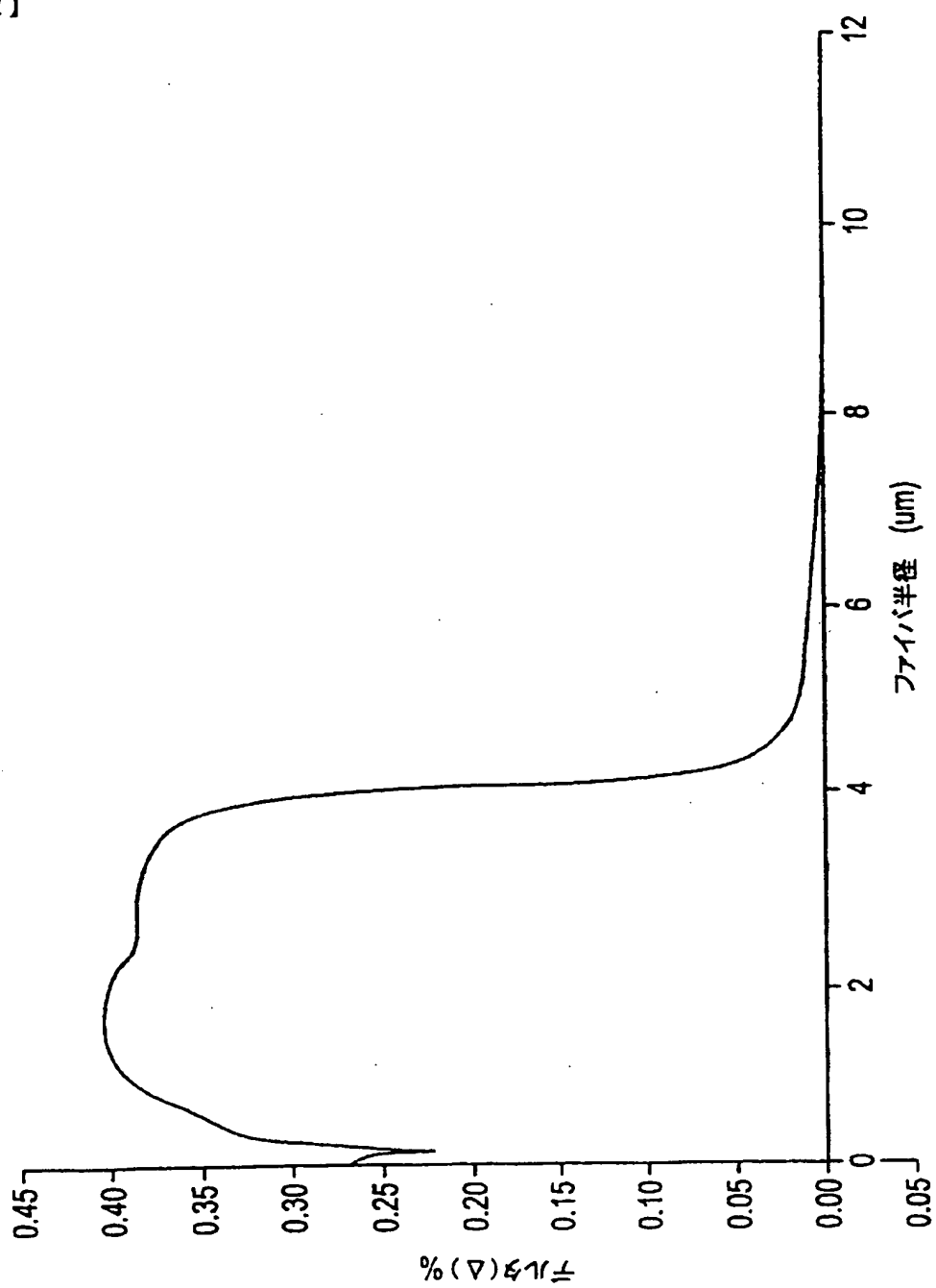
【図7】 光伝送システムの一例である。

【図8】 波長分割マルチプレクシングシステムの一例である。

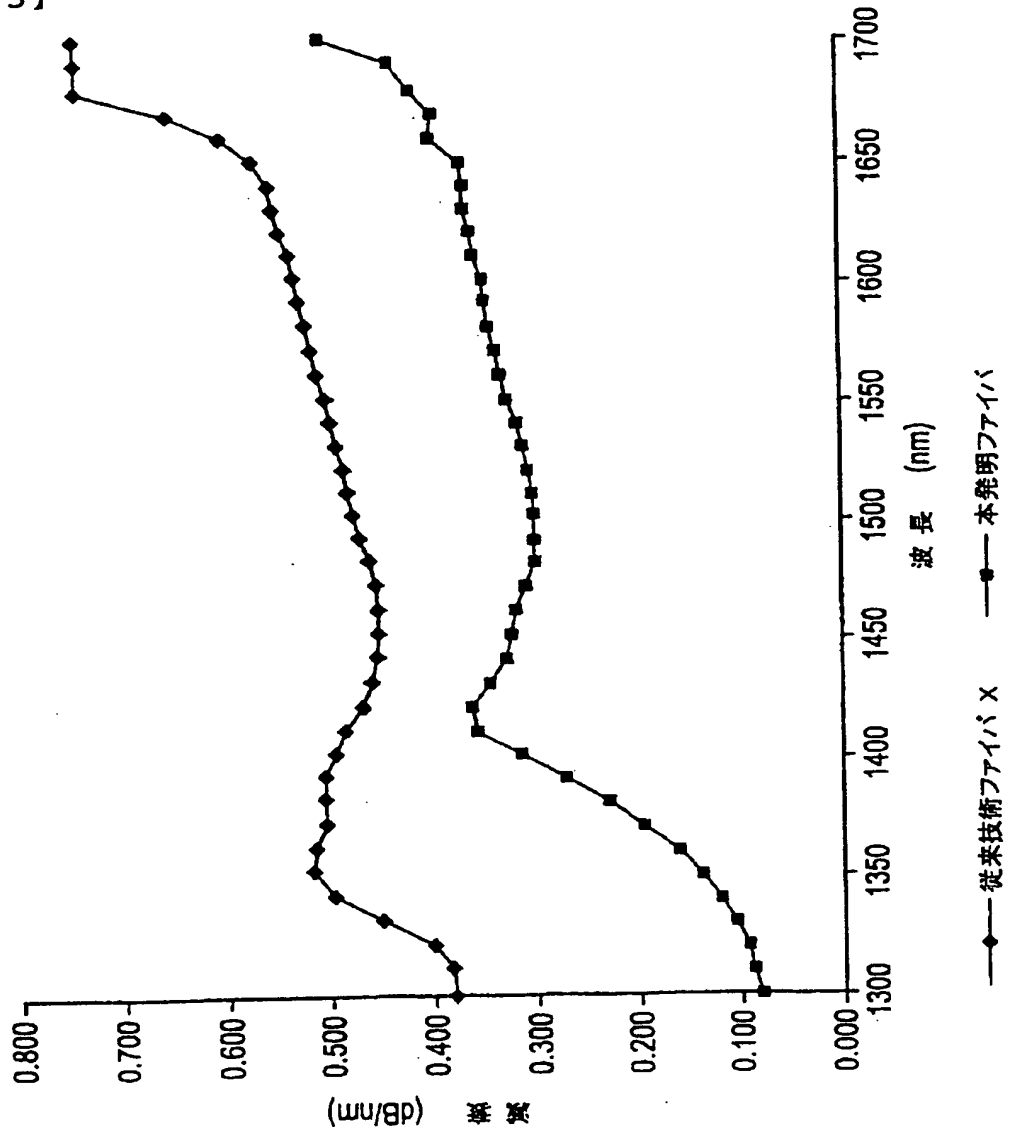
【図1】



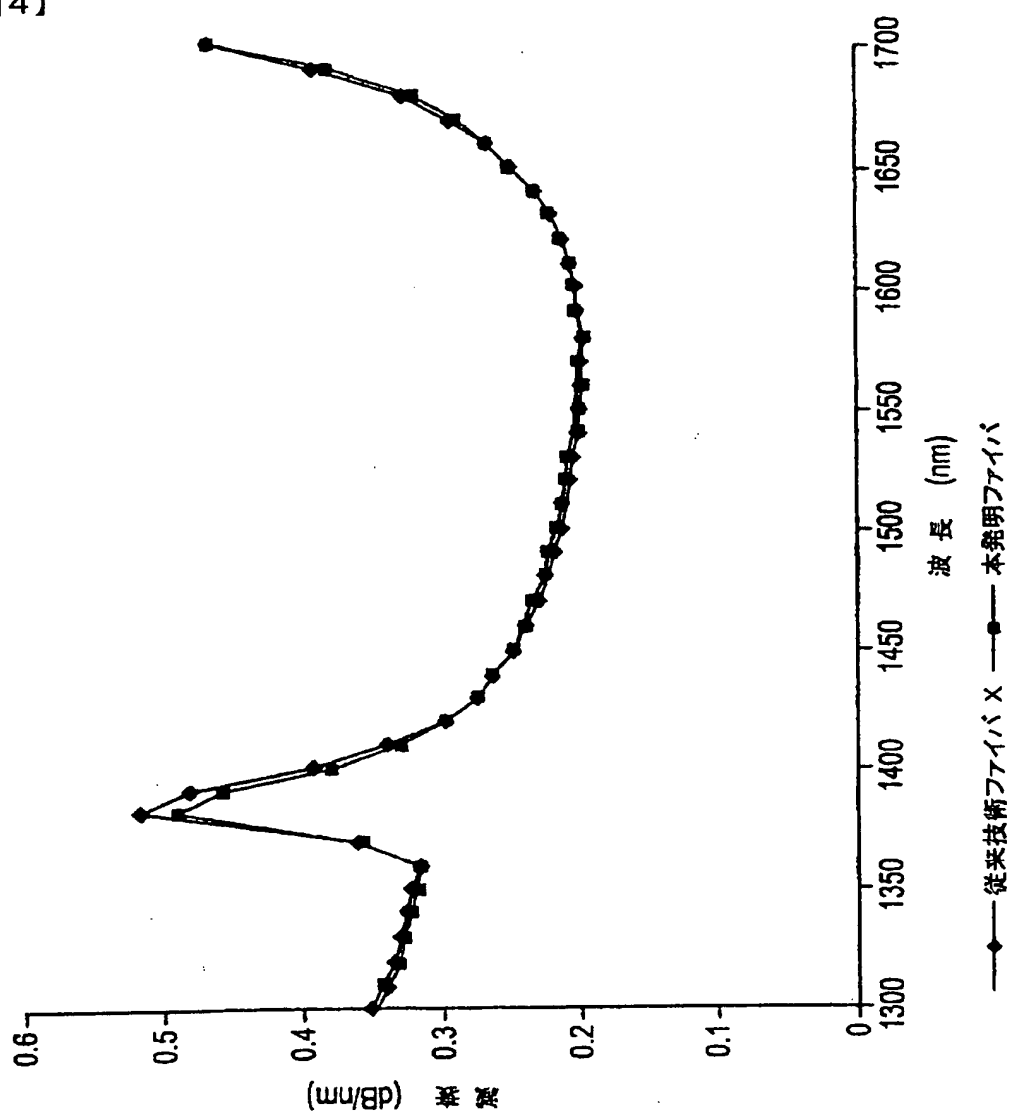
【図2】



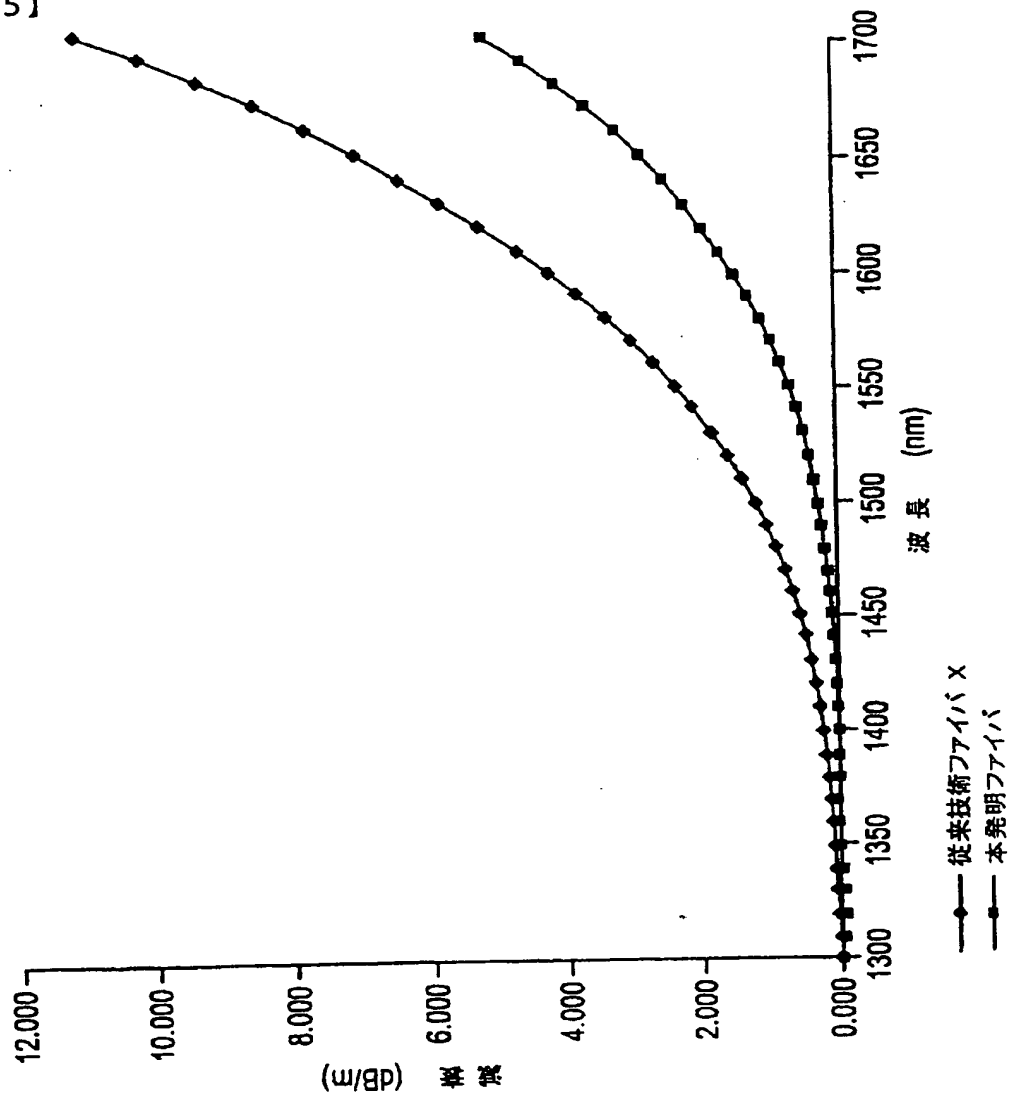
【図3】



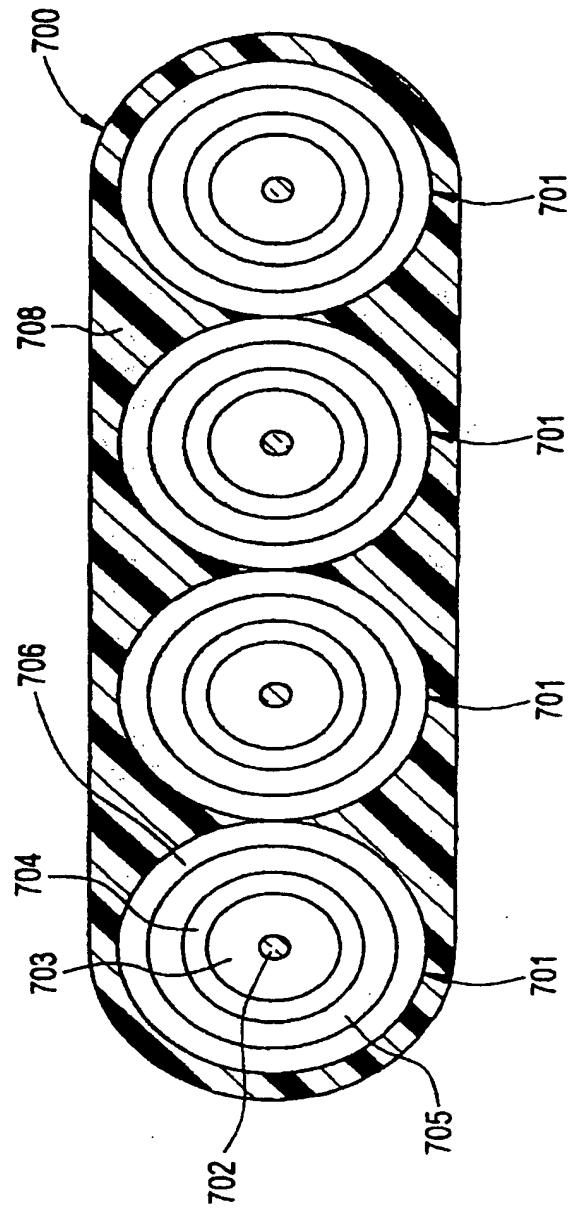
【図4】



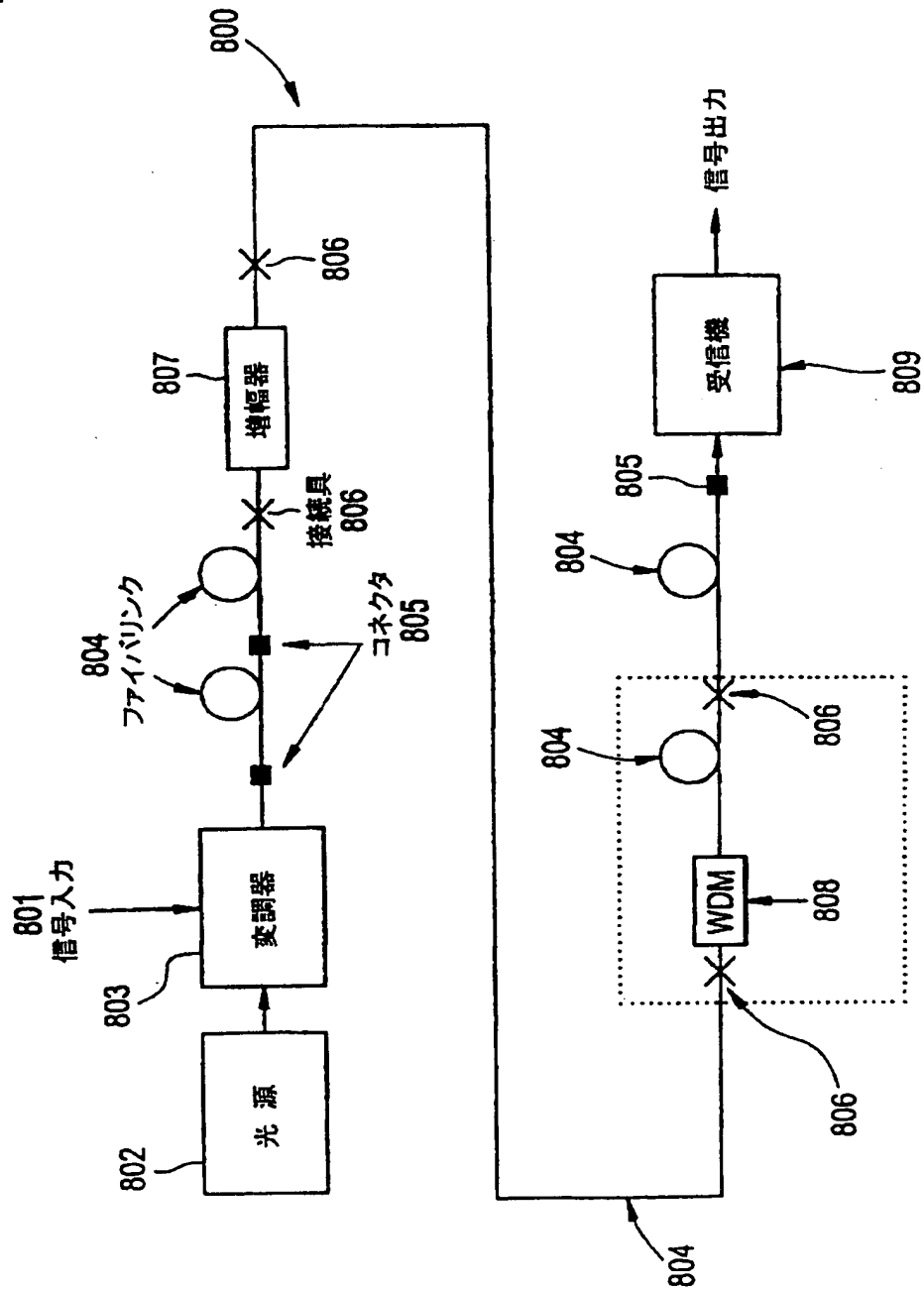
【図5】



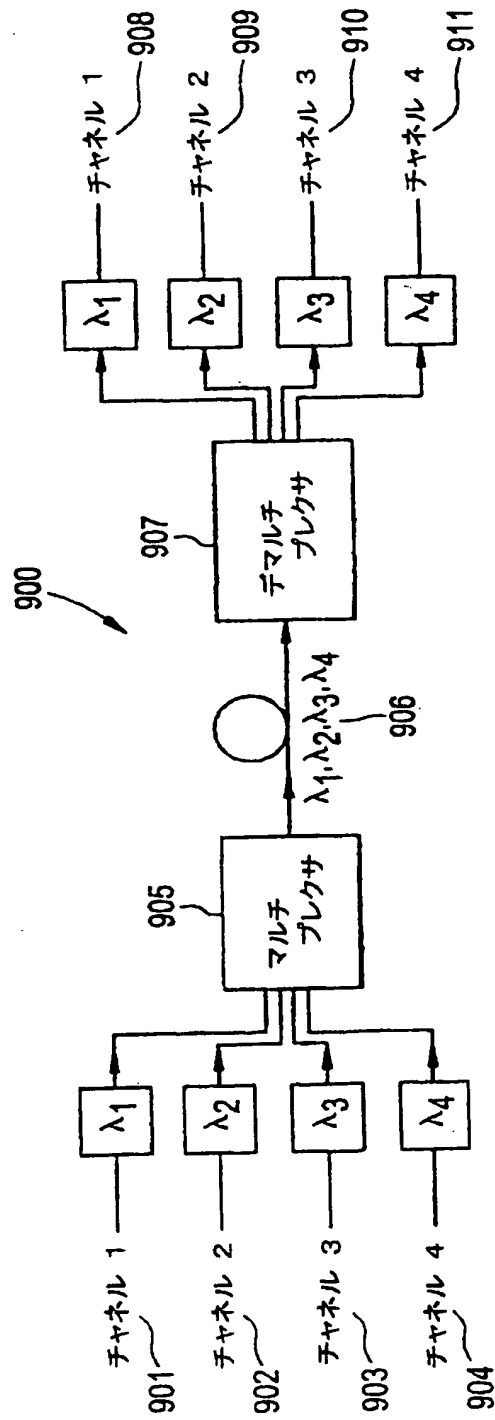
【図6】



【図7】



【図8】



【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

| | | |
|--|---|--|
| A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 G02B5/16 | | International Application No. PCT/US 00/25362 |
| According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC | | |
| B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 G02B | | |
| Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched | | |
| Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, PAJ, INSPEC, WPI Data | | |
| C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT | | |
| Category | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
| X | UNGER C ET AL: "Characterization of the bending sensitivity of fibers by the MAC-value" OPTICS COMMUNICATIONS, 1 MAY 1994, NETHERLANDS, vol. 107, no. 5-6, pages 361-364, XP000955364 ISSN: 0030-4018 the whole document | 1,12 |
| Y | --- | 26,30 |
| Y | EP 0 883 002 A (LUCENT TECHNOLOGIES INC) 9 December 1998 (1998-12-09) page 4, line 23 - line 37 page 6, line 34 - page 7, line 3; figure 6 figures 3B,6,7 --- -/-- | 26,30 |
| <input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex. | | |
| * Special categories of cited documents : "A" documents defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document relating to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "Z" document member of the same patent family | | |
| Date of the actual completion of the international search 24 January 2001 | | Date of mailing of the international search report 09.03.01 |
| Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.O. Box 5818 Patentamt 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 851 epo nl Fax (+31-70) 340-3016 | | Authorized officer Faderl, J |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/US 00/25362

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category * | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|------------|--|-----------------------|
| X | COCCHINI F ET AL: "MICROBENDING SENSITIVITY OF OPTICAL FIBRES" OFMC. OPTICAL FIBRE MEASUREMENT CONFERENCE, XX, XX, vol. 1, September 1995 (1995-09), pages 135-138, XP000669868 the whole document | 1,12 |
| X | UNGER C ET AL: "INVESTIGATION OF THE MICROBENDING SENSITIVITY OF FIBERS" JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, US, IEEE, NEW YORK, vol. 12, no. 4, 1 April 1994 (1994-04-01), pages 591-596, XP000470355 ISSN: 0733-8724 the whole document | 1,12 |
| P,X | PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2000, no. 02, 29 February 2000 (2000-02-29) - & JP 11 305086 A (FUJIKURA LTD), 5 November 1999 (1999-11-05) the whole document | 1 |
| A | US 5 278 931 A (SMITH DAVID K ET AL) 11 January 1994 (1994-01-11) abstract; figures; table 1 column 1, line 16 - line 25 | 1,12 |
| A | US 5 673 342 A (NELSON KATHERINE THERESA ET AL) 30 September 1997 (1997-09-30) abstract; figure 1 | 26,30 |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

national application No.
PCT/US 00/25362

Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of Item 1 of first sheet)

This International Search Report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☒ Claims Nos.: 2-11, 13-25, 27-29, 31, 32
because they relate to parts of the International Application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful International Search can be carried out, specifically:
see FURTHER INFORMATION sheet PCT/ISA/210

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of Item 2 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this International application, as follows:

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this International Search Report covers all searchable claims.

2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.

3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this International Search Report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this International Search Report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

International Application No. PCT/US 00/25362

FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM PCT/ISA/ 210

Continuation of Box 1.2

Claims Nos.: 2-11,13-25,27-29,31,32

Present independent claims 1, 12, 26 and 30 relate to a product and a system using this product defined by reference to the following parameter(s):

P1: a single mode optical fiber comprising a MAC number measured at 1625nm equal to or less than about 7.8

The use of these parameters in the present context is considered to lead to a lack of clarity within the meaning of Article 6 PCT. It is impossible to compare the parameters the applicant has chosen to employ with what is set out in the prior art. The lack of clarity is such as to render a meaningful complete search impossible. Consequently, the search has been restricted to an optical fiber with the refractive index profile shown in figure 2, having a MAC number close to 7.8 in the third infrared transmission window.

The applicant's attention is drawn to the fact that claims, or parts of claims, relating to inventions in respect of which no international search report has been established need not be the subject of an international preliminary examination (Rule 66.1(e) PCT). The applicant is advised that the EPO policy when acting as an International Preliminary Examining Authority is normally not to carry out a preliminary examination on matter which has not been searched. This is the case irrespective of whether or not the claims are amended following receipt of the search report or during any Chapter II procedure.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No.

PCT/US 00/25362

| Patent document cited in search report | Publication date | Patent family member(s) | Publication date |
|---|---------------------|----------------------------|---------------------|
| EP 0883002 A | 09-12-1998 | US 5878182 A | 02-03-1999 |
| | | AU 711776 B | 21-10-1999 |
| | | AU 6993898 A | 10-12-1998 |
| | | BR 9801775 A | 14-09-1999 |
| | | CA 2237282 A | 05-12-1998 |
| | | CN 1201913 A | 16-12-1998 |
| | | DE 69800250 D | 14-09-2000 |
| | | DE 69800250 T | 28-12-2000 |
| | | JP 11052161 A | 26-02-1999 |
| | | RU 2140095 C | 20-10-1999 |
| JP 11305086 A | 05-11-1999 | NONE | |
| US 5278931 A | 11-01-1994 | AU 660382 B | 22-06-1995 |
| | | AU 5262993 A | 21-07-1994 |
| | | CA 2109389 A | 01-07-1994 |
| | | EP 0604787 A | 06-07-1994 |
| | | JP 6235839 A | 23-08-1994 |
| US 5673342 A | 30-09-1997 | EP 0810749 A | 03-12-1997 |
| | | JP 10062646 A | 06-03-1998 |

フロントページの続き

(81)指定国 EP(AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, UZ, VN, YU, ZA, ZW

(72)発明者 ハウトフ ダニエル ダブリュ.
アメリカ合衆国 ニューヨーク州 14870
ペインテッドポスト ウッドセッジドラ
イブ 2910 アパートメント128

Fターム(参考) 2H050 AC09 AC71 AC75 AD00
5K002 AA06 CA01 CA13 DA02 FA02

【要約の続き】

